

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka / Rakennesuunnittelu

Janne Koivuniemi

Jäykistyslaskennan Päivitys Eurokoodi Mitoitukselle

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

KOIVUNIEMI, JANNE	Jäykistyslaskennan Päivitys Eurokoodi Mitoitukselle
Insinööri	39 sivua +4 liitesivua
Työn ohjaaja	Juha Karvonen
	Jani Pitkänen
Toimeksiantaja	Liinatikka Oy
Maaliskuu 2012	
Avainsanat	Jäykistys, Excel, eurokoodi, kipsilevy, Gyproc

Tämän opinnäytetyön aiheena oli jäykistyslaskennan päivitys eurokoodimitoitukselle Liinatikka Oy:lle. Käytännössä tehtiin Excel-pohjainen ohjelma, joka tuottaa viranomaiskelpoisen tulosteen jäykistyslaskennasta, sitä voidaan käyttää rakennuksen suunnitelmissa.

Aihetta käytiin läpi tutkimalla nykyisiä määräyksiä, standardeja sekä esimerkitapauksia. Tutkittiin teoriaa jäykistämisestä, jäykistelevyistä, kiinnikkeistä, kuormituksista sekä itse laskennasta. Eurokoodeista poimittiin ohjelmaan tarvittavat kaavat sekä taulukot. Esimerkkilaskulla verrattiin tuloksia Eurokoodi 5:en asuinrakennuksen sovel-luslaskelmien jäykistyslaskelmiin sekä liitteenä laskettiin yhden talon jäykistys ja esi-tettiin tästä tulosteet.

Opinnäytetyön materiaali koostuu eurokoodeista, erinäisistä suunnitteluohjeista sekä Gyproc Saint Gobain-yrityksen taulukkomitoitus laskentaohjeesta. Tiedonlähteenä ovat toimineet myös Liinatikka Oy:n suunnittelijat sekä työtä ohjaavat opettajat.

Ohjelma laskee suunnittelijan antamien lähtötietojen perusteella tarkasteltavalle rakenteelle kuormat ja kapasiteetit sekä kertoo kestäkö rakenne kuormitukset. Ohjel-malla pystytään laskemaan pientalojen levyjäykistys käyttäen kipsilevyjä ja niille tar-koitettuja kiinnikkeitä. Ohjelma on yksinkertainen käyttää ja tarvittaessa helposti laa-jennettavissa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

KOIVUNIEMI, JANNE

Updating the Analysis of Stiffening Wall Diaphragms for
Eurocodes

Bachelor's Thesis

39 pages + 4 pages of appendices

Supervisor

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Jani Pitkänen, Lecturer

Commissioned by

Liinatikka Oy

March 2012

Keywords

stiffening, wall diaphragms, plasterboard, excel

The purpose of this bachelor's thesis work was to update the analysis of stiffening wall diaphragms for Eurocodes for the company Liinatikka Oy. The study outcome was an Excel-based program, which produces a printable analysis of stiffening wall diaphragms, which can be used as part of the design of a building.

The subject was studied through reading the new principals, standards and examples of previous analysis. An example calculation from reference EC5 Calculation of a Residential Building was used to compare their results to the results taken from this constructed software.

The sources for this thesis consist of Eurocodes, different planning guides and Gyproc Saint Gobain company's table format design system. Other information sources were the designers from the company Liinatikka Oy and the professors from Kyamk University of Applied Sciences.

This software calculates, based on the initial data input by the engineer, the structural loads, forces and the capacity. The program can be used to design the stiffening for detached houses using plasterboards and their appropriate stiffeners. It is easy to use and it is easily expandable for more accurate calculations.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Liinatikka Oy:lle suunnittelun tueksi.

Työn ohjaajina toimivat tilaajan puolelta Mauri Huczkowski sekä Risto Lehmonen. Haluan kiittää heitä ohjauksesta, avusta sekä kannustavasta palautteesta työn aikana. Lisäksi haluan kiittää heitä mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö heille. Koulun puolelta ohjaajina toimivat Jani Pitkänen ja Juha Karvonen. Haluan kiittää heitä työn ohjauksesta ja rakentavasta palautteesta.

Kotkassa 2.5.2012

Janne Koivuniemi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

PARAMETRIT	7
1 JOHDANTO	8
2 EUROKOODIT	9
2.1 Yleistä	9
2.2 Vanhat standardit	10
3 LEVYJÄYKISTÄMINEN	10
3.1 Rakenteiden jäykistäminen ja jäykistämistavat	10
3.2 Jäykistelevyt	12
3.3 Jäykistelevyjen kiinnikkeet	13
3.4 Laskenta	13
3.4.1 Kuormat	14
3.4.1.1 Tuulikuorma	14
3.4.1.2 Omapaino	17
3.4.1.3 Hyötykuorma	17
3.4.1.4 Lumikuorma	17
3.4.1.5 Pystykuormien lisävaakavoima	18
3.4.1.6 Kuormien aikaluokat	19
3.4.1.7 Käyttöluokat	19
3.4.2 Jäykistys	20
3.4.3 Menetelmä A	20
3.4.4 Menetelmä B	23
4 JÄYKISTYSOHJELMA	25
4.1 Excel	26
4.2 Laskentaparametrit	26
4.3 Jäykistelevyn kapasiteetin laskenta	28
4.4 Käyttöaste	30
4.5 Seinälohkojen ankkurointi	30

4.6 Ohjelman käyttö	30
5 ESIMERKKILASKU	32
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38
LIITTEET	
Liite 1. Esimerkkilasku	
Liite 2. Suunnittelijan välilehti	

PARAMETRIT

$h(m)$	rakennuksen korkeus
$q_k (kN/m^2)$	nopeuspaineen ominaisarvo
$C_r (z)$	maaston rosoisuuden kerroin
$F_{w,k}$	kokonaistuulikuorman resultantti
C_f	voimakerroin
A_{ref}	rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala
S_k	lumikuorman ominaisarvo maanpinnalla
μ_I	muotokerroin
N_d	pystykuormat lisävaakavoiman kaavaan
$F_{v,Ed}$	seinälohkon yläreunan kuormitus
$F_{v,Rd}$	seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo
h	korkeus
$F_{i,v,Rd}$	Vaakaleikkausvoimakestävyys yksittäisen liittimen poikittaiskuormakestävyyden mitoitusarvo
$F_{t,Rd}$	vo
b_i	seinälohkon leveys
s	liitinväli
b_0	korkeuden puolikas
$F_{i,c,Ed}$	ulkoisien voimien kaava
$F_{i,t,Ed}$	ulkoisien voimien kaava
b_{net}	tolppien välinen vapaa väli
t	levyn paksuus
s_0	liitinvälin perusarvo
k_d	seinäosan mittasuhtekerroin
$k_{i,q}$	seinäosalle tasan jakautuneen kuorman kerroin
k_s	liitinvälistä riippuva kerroin
k_n	levyn materiaalikerroin
k_p	korjauskerroin
k_t	korjauskerroin
R_d	naulan leikkauskestävyys
d	naulan halkaisija
k_l	korjauskerroin
k_{mod}	muunnoskerroin
μ_m	materiaalin osavarmuusluku
$F_{f,Rd}$	naulan leikkauskestävyys jäykistävässä levyssä
$F_{i,vert,Ed}$	Pistekuorma
$F_{d,2}$	laskettavan esimerkin jäykisteseinän kuorma murtorajatilassa
$w_{k,2}$	yläpohjatasoon kohdistuva viivakuorma käyttörajatilassa
L	pitkän sivun pituus

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee jäykistyslaskentaa. Toimeksiantajana oli Liinatikka Oy, jolle oli tavoitteena kehittää Excel-ohjelmalla laskentapohja, joka auttaisi suunnittelijaa jäykistyslaskennan suorittamisessa. Yritys haluaa päivittää oman jäykistyslaskentansa uusien eurokoodien mukaiseksi. Lähdetietoa löytyi helposti internetistä, koulun kirjastosta sekä ohjaavilta opettajilta. Opinnäytetyössä lähdettiin liikkeelle syöttämälle Exceliin taulukoita Gyprocin kipsilevyluetteloista ja laskentaohjeista. Konstruoitiin välilehdet tulostettavalle jäykistyslaskelmalle, suunnittelijan lähtötiedoille sekä erinäisille apuvälilehdille.

Eurokoodeista poimittiin exceliin tarvittavat kaavat kuormituksille, kertoimille ja kapasiteeteille. Ohjelmalla on tarkoitus tarkastella jäykistystä helposti ja yksinkertaisesti, joten myös ulkoasua mietitään jo alusta pitäen. Osa tiedoista syötetään käsin kuten työn tiedot, julkisivujen sekä päätyjen neliömäärät ja levymäärät. Yksinkertaisista putkusvalikoista valitaan levytyyppi ja kiinnike, kiinnikeväli sekä levyn korkeus. Näiden jälkeen ohjelma tekee laskelmat valmiiksi ja ensimmäisestä välilehdestä voidaan tulostaa valmis laskelma suunnitelmiin mukaan.

Opinnäytetyössä käydään läpi lyhyesti eurokoodeja, vanhoja standardeja sekä erinäisiä laskelmia, joita ohjelmassa tarvitaan. Tekstissä kerrotaan jäykistämisen teoriasta, erilaisista jäykistelevyistä, niiden kiinnikkeistä, jäykistämistavoista sekä itse laskennasta.

Esimerkkilaskuna laskettiin yhden seinäosan jäykistys rakennuksessa ja verrattiin saatuja tuloksia ”Eurokoodi 5: Asuinrakennuksen sovelluslaskelmat”-jäykistyslaskelmaan. Tuloksissa päädyttiin samanlaisiin arvoihin niin yhdelle levyille kuin koko seinälohkolle ja todettiin, että ohjelma toimii suunnitelmien mukaan. Esimerkkilaskun tiedonlähteenä toimi EC5: Sovelluslaskelman lähtöarvot.

2 EUROKOODIT

2.1 Yleistä

Eurokoodit ovat eurooppalaisia standardeja jotka koskevat kantavien rakenteiden suunnittelua. Eurokoodien soveltaminen eri maissa vaatii kansallisia liitteitä, ja Suomen kansallisia liitteitä laatii ympäristöministeriö. (Eurokoodit 2012.)

Eurokoodi-sarja sisältää 58 osaa. Osat sisältävät kokonaisvarmuuden määrittämisperiaatteet, erilaiset kuormat (kuten hyöty-, lumi- ja tuulikuormat), lämpö-, onnettomuus- ja nosturikuormitukset sekä yksityiskohtaiset ohjeet eri rakennusmateriaaleille. (Eurokoodit 2012.)

Suomen Standardisoimisliitto SFS julkaisee eurokoodit Suomessa. Yksittäisiä standardeja voi käyttää, kun niille vahvistetaan kansallinen liite. Tarvittavat kansalliset liitteet annetaan asetuksina ympäristöministeriöstä. Ensimmäinen varsinainen eurokoodi tuli käyttöön 2007 vuoden lopulla, mutta esistandardeja on voinut jo aikaisemmin käyttää yhdessä kansallisten soveltamisasiakirjojen kanssa, jotka sittemmin on asetuksellaan kumonnut ympäristöministeriö 30.3.2010. (Eurokoodit 2012.)

Eurokoodien käyttöönoton tueksi on luotu help desk –sivusto, josta löytyy ajantasaista tietoa eurokoodeista ja kansallisista liitteistä. Sivustolle kootaan tietoa myös eurokoodeihin liittyvistä oppikirjoista, käsikirjoista sekä ohjelmista. Sivujen kautta voi tiedustella koodien tulkinnoista sekä mahdollisista virheistä. (Eurokoodi Help desk 2012.)

2.2 Vanhat standardit

Rakentamismääräyskokoelmasta löytyy vielä vanha B10: Puurakenteet-ohje vuodelta 2001. Tämä sisältää osittain erilaisia kaavoja ja määräyksiä kuin nykyisissä eurokoodeissa. Esimerkiksi materiaalien yleisimpänä osavarmuuskertoimena käytetään B10:ssä arvoa 1,3 murtorajatilassa, kun taas eurokoodeissa kullekin kuormatyypille on omat kertoimet kuten hyötykuormalle 1,5 sekä pysyvälle kuormalle 1,25. Taulukkoimitoittaminen oli yleisempää vanhoilla standardeilla, ja ne sisälsivät suureksi osaksi käyrästöjä joista haettiin arvoja. (B10 2000.)

3 LEVYJÄYKISTÄMINEN

3.1 Rakenteiden jäykistäminen ja jäykistämistavat

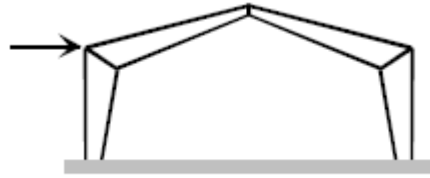
Rakennejärjestelmän pitää kestää ulkoisten vaakakuormien ja ulkoisista pystykuormista aiheutuvien vaakakuormien aiheuttamat rasitukset. Jäykistyksen tulee käsittää koko rakennuksen jäykistys sekä yksittäisten komponenttien muodostaman kokonaisuuden sisäinen jäykistys. (Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje 2006.)

Vaakakuormat, esimerkiksi tuulikuormat, siirretään hallitusti perustuksille. Yksittäiset jäykisteet eivät saa nurjahtaa tai menettää stabiiliuttaan ja siirtymien tulee jäädä pieniksi. Käyttörajan kuormat eivät saa aiheuttaa jäykistysseiniin halkeamia tai taipumia (Eurokoodi 5, 2011). Jäykistys suunnitelmissa tulee esittää, miten voimat siirretään jäykistysmitoituksessa rakennustasolle rakenteilta toisille ja mitkä voimat siirretään perustuksille saakka (Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje 2006).

Jäykistävinä pystyrakenteina toimivat ulkoseinät ja huoneistojen väliset seinät. Jäykistävinä vaakarakenteina toimivat ylä- sekä välipohjatasot. (Leskelä ja Kilpeläinen 1996.)

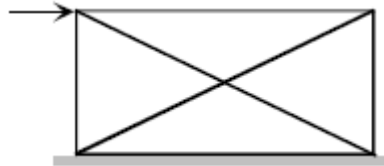
Jäykistämistapoja on erilaisia. Useimmiten jäykistettävä rakenne on symmetrinen ja siten voimien laskeminen suhteellisen helppoa. Monimutkaisemmat tapaukset voidaan tarkastella hankalammilla tasapainotarkasteluilla. (Puurakenteiden jäykistys ohje 2006.)

Kehäjäykistäminen koostuu momenttiliitoksista, joita ovat esimerkiksi tappivaarnat ja sormiliitokset tai vaikka taivutettu liimapuurakenne. Mekaanisin liittimin kootut puukehät ottavat vastaan tuulikuormia. Kehäjäykistystä (Kuva 1.) käytetään yleensä teollisuuden rakennuksissa. (Puurakenteiden jäykistysohje 2006.)



Kuva 1. Kehäjäykistys. (Puurakenteiden jäykistysohje 2006.)

Ristikkojäykistys (Kuva 2.) tarkoittaa, että käytetään vinosauvoja, jotka toimivat joko veto- tai puristussauvoina. Vetosauvoina yleensä käytetään vain terästä mutta puristussauvat voivat olla puuta. Terästankojen päissä on kiertet ja mutterit ja puuhun kiinnitettäessä tarvitaan aluslevyrakenne. Vinosauvat voidaan sijoittaa rakenteen sisään tai näkyviin. (Puurakenteiden jäykistysohje 2006.)



Kuva 2. Vinojäykistys (Puurakenteiden jäykistysohje 2006.)

Levyjäykistys koostuu pystytolpista, ala- ja yläjuoksuista sekä puu- tai kipsilevyistä. Voimat siirretään liittimien eli naulojen tai ruuvien avulla. Nousu estetään ankkuroimalla seinälohkot perustuksiin. Pystytolpat tulee mitoittaa pystykuormille ja vaakavoimien aiheuttamille lisäkuormille. Levyt tulee mitoittaa vaakavoimille sekä pystykuormien aiheuttamille lisävaakavoimille. (Kuva 3.)



Kuva 3. Levyjäykistys (Puurakenteiden jäykistysohje 2006.)

Mastojäykistys tarkoittaa, että rakenne on alapäästään tuettu jäykästi ja toimii ulokepalkin tavoin, eikä voida käyttää tällöin nivelliitosta. Kuormat siirtyvät jäykkyyksien suhteessa perustuksiin. (Kuva 4.)



Kuva 4. Mastojäykistys (Puurakenteiden jäykistysohje 2006.)

Jäykistämistapoja voidaan myös yhdistellä, millä päästään entistä jäykempiin rakenteisiin.

3.2 Jäykistelevyt

Tyyppihyväksyttyjä huokoisia kuitulevyjä, kipsilevyjä, kuitusementtilevyjä, sementtilastulevyjä, puukipsilevyjä sekä kalsiumsilikaattilevyjä voidaan käyttää puurakenteiden jäykistävinä levyinä (Eurokoodi 5, 2011). Rakentamisen aikana useimmat suojaavat eristeitä ja runkorakenteita myös kosteudelta. Vaikka levy suojaakin tuulelta ja kosteudelta, tulisi ulkoverhous asentaa mahdollisimman pian. Tuulensuojalevyt eli tässä tapauksessa kipsilevyt toimivat jäykistävinä rakenteina seinissä. (Gyproc 2011.)

Tuulensuojalevyjä on monenlaisia ja valmistajia on useita. Tässä opinnäytetyössä on käytetty Gyprocin kipsilevyjä Gyprocin taulukoilla. Excel ohjelma sisältää luettelon eri levyvaihtoehdoista sekä niiden kiinnikkeistä. Luettelo sisältää normaalikipsilevyjä, erikoiskovia kipsilevyjä ja remontointiin, märkätiloihin että palonsuojaukseen tarkoitettuja kipsilevyjä. Ohjelmassa on mahdollisuus lisätä luetteloon muitakin levyjä, jos valmistaja niitä tuo markkinoille ja laskennassa sitä tarvitaan.

Esimerkiksi Gyprocin valmistama Glasroc GHU 13 Hydro -tuulensuojalevy on komposiittipohjainen, ja se on vahvistettu lasikuituvahvisteinen ja lasikuidulla pinnoitettu kipsilevy. Levyn luvataan kestävän säätä jopa 12 kuukautta ilman ulkoverhousa. Nii-
den asennus on yhtä helppoa kuin tavallisten kipsilevyjen. (Gyproc 2011.)

3.3 Jäykistelevyjen kiinnikkeet

Jäykistelevyjen kiinnikeinä voidaan käyttää esimerkiksi nauloja tai ruuveja. Kiinnikkeet tulee kiinnittää tasaisin välein ja standardien mukaisesti. Kiinnikkeiden väli vaikuttaa levyjen kapasiteettiin. Liittimien tulee olla reunoilta tasaisilla välimatkoilla toisistaan ja keskellä enintään kaksinkertaisella välillä reunoihin nähden. (Eurokoodi 5, 2011.)

Gyproc tarjoaa kipsilevyilleen useita erilaisia kiinnikkeitä ja kiinnikekokoja. Kiinnikkeitä on niin puu- kuin teräsrangallekin. Taulukoissa on muun muassa konenauloja, huopanauloja, ruuvinauloja sekä ruuveja. (Gyproc 2011.)

3.4 Laskenta

Jäykistävinä rakenteina levyjäykistyksessä huomioidaan levytetyt väli- ja yläpohjat, katot ja seinät. Rakenneosien liitostent tulee olla liittävän lujat, jotta ne kestäisivät niiden kautta siirtyvä voimat. (Gyproc 2011.)

Yleensä riittää, että rakennuksen stabiliteetti tarkistetaan kahdelta suunnalta, kohtisuoraan julkisivua vastaan ja kohtisuoraan päätyä vastaan. Rakennusta niin sanotut vääntävät ja kiertävät voimat voidaan yleensä jättää huomioimatta, ja poikkeavissa rakenteissa suunnittelija arvioi, onko yksinkertainen laskeminen mahdollista tehdä. (Gyproc 2011.)

Laskennassa murtorajatilassa tulee tarkastaa levyjen lommahdus, liittimien leikkauslujuus sekä seinien ankkurointi perustuksiin. Käyttöraajatilassa tarkastetaan seinän yläreunan siirtymät. Poikkeuksena lommahdusta eikä yläreunan siirtymää tarvitse erikseen tarkistaa, mikäli levy mitoitetaan Gyproc-ohjeessa annettujen taulukkomitoitusarvojen avulla ja kun seinän rankajako on pienempi kuin 600 mm. (Gyproc 2011.)

3.4.1 Kuormat

Rakenteita rasittavat kuormitukset tulee laskea suunniteltavien rakenteiden mukaisesti uusimpia standardeja käyttäen tai vähintään valittua laskentatapaa käyttäen koko rakennuksen suunnittelussa. Kuormituslaskelmia tehdään rakenteille niin käyttörajatilassa kuin murtorajatilassa, mikä tarkoittaa lähinnä sitä, että murtorajatilassa on käytössä lisäksi varmuuskertoimet sekä kuormitusyhdistelmät. Käyttörajatila tarkoittaa tilaa, jonka ylittämisen jälkeen rakenteen käyttökelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty, ja murtorajatila tarkoittaa sortumiseen tai muuhun rakenteen vaurioitumistapaan liittyvää tilaa (Eurokoodi 2012).

Suunniteltavalle rakenteelle tulee määrittää niin sanottu mitoittava kuorma. Tätä arvoa käytetään maksimina suunniteltaessa kestäväää rakennetta. Rakenteen kestävyys tarkoittaa rakenteen osan tai sen poikkileikkauksen kykyä vastustaa kuormia vaurioitumatta, esimerkiksi taivutuskestävyyttä, nurjahduskestävyyttä tai vetokestävyyttä (Eurokoodi). Tästä käytetään laskennassa monesti nimeä käyttöaste, joka ilmaistaan prosenttilukuna. Esimerkiksi jos rakennetta kuormittaa 100 kN ja suunnitellun rakenteen kestävyys on 90 kN, sen käyttöaste on silloin $100 \text{ kN} / 90 \text{ kN} = 111 \%$ eikä rakenne siis kestä kyseistä kuormitusta riittävän hyvin.

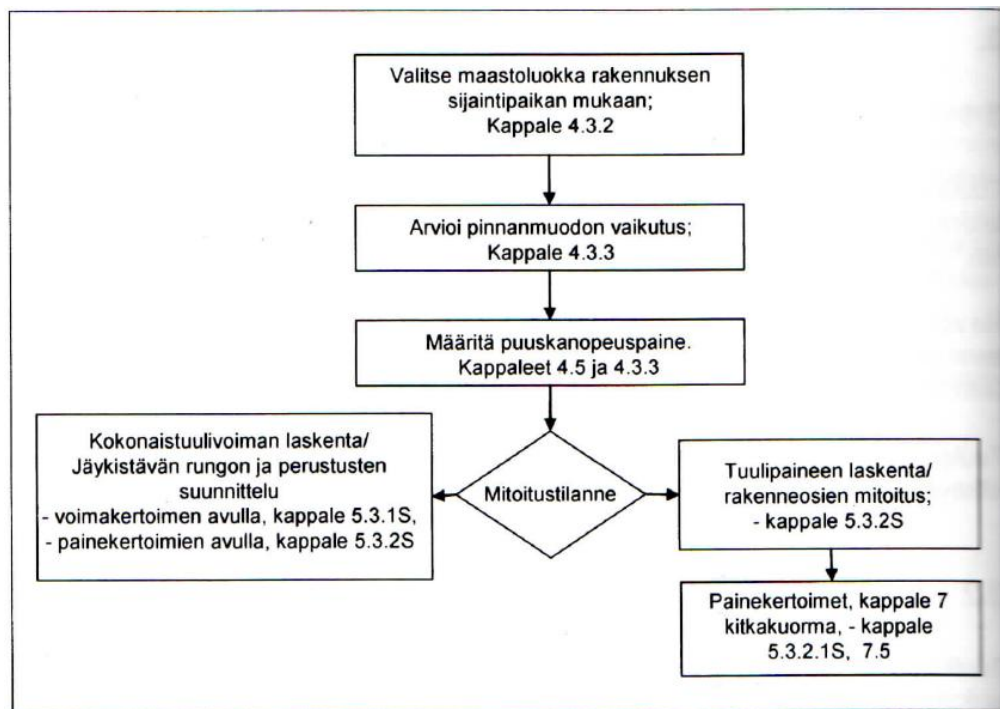
Tämän opinnäytetyön laskennassa ei tarvitse ottaa huomioon työnaikaisia kuormia jäykistykseen vaikuttavina kuormina. Mahdolliset jäykistelevyjen vaurioitumiset vähentävät kapasiteettia, mitä kyseessä oleva ohjelma ei kuitenkaan huomioi, vaan oletetaan ehjien pysyvän ehjinä. Leikatut levyt sitä vastoin huomioidaan, mutta niiden kapasiteetista huomioidaan vain 25 %.

3.4.1.1 Tuulikuorma

Tuulikuormat vaihtelevat ajan mukana. Tuulikuormat aiheuttavat painetta umpiaisten rakenteiden ulkopintoihin ja ulkopinnan huokoisuuden takia välillisesti myös sisäpintoihin. Kun tuuli kohtaa suurien rakenteiden pintoja, myös pinnan suuntaisesti vaikuttavat kitkavoimat saattavat olla suuria. (RIL 201, 2011.)

Tuulikuormat tulee esittää yksinkertaistettuina paineiden ja voimien joukkoina, joiden vaikutukset ovat samat kuin tuulenpuuskien suurimmat voimat. Tuulikuormat voidaan luokitella muuttuviksi kiinteiksi kuormiksi, ellei toisin määritellä. (RIL 201, 2011.)

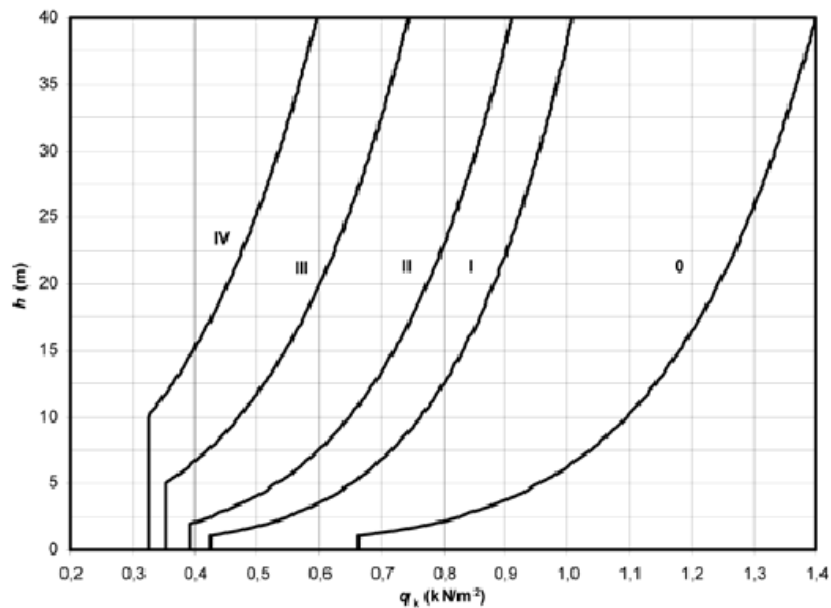
Työvaiheet tuulivoimien laskennassa on selkeästi esitetty seuraavassa kuvassa:



Kuva 5. Kulkukaavio tuulivoiman laskentaan (RIL 201, 2011.)

Tuulikuorman suuruus määritetään Eurokoodin 1: ”Rakenteiden kuormat” mukaan. Tuulikuorma lasketaan Suomessa maastoluokan ja rakenteen muodon mukaisesti. Standardista etsitään taulukot, joista eri rakennustyyppin, muodon ja korkeuden mukaiset kertoimet saadaan. (Eurokoodi 5, 2011.)

Maastoluokan sekä rakennuksen korkeuden mukaan saadaan standardista (Kuva 6.) taulukon avulla nopeuspaineen arvo.



Kuva 6. Nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa (Eurokoodi, 5 2011).

Eurokoodi 1:sen kansallisen liitteen mukaan tuulennopeudelle annetaan Suomessa seuraavia arvoja: Manneralueilla 21 m/s, merialueilla 22 m/s, tunturien lakialueilla 26 m/s sekä alamaastossa tunturien juurella 21 m/s. Kansallinen liite kertoo myös maaston rosoisuuden $C_r(z)$, erilaisten pinnanmuodostusten, lämpötilainversion vaikutuksen, ilman tiheyden (hoikilla erikoisrakenteilla), maaston vaikutusten, pyörreratailmiön sekä aeroplastisten epästabiiliusilmiöiden arvot. (Eurokoodi 1, 2007.)

Erilaisille kattomuodoille sekä pinnanmuodoille on olemassa kaavat, jos laskennassa tarvitaan tarkempia tuulen vaikutuksia. Erilaisia muotoja, joiden laskentaan standardeissa on ohjeet ovat muun muassa tasakatot, pulpettikatot, harjakatot, aumakatot, sahakatot, kaarikatot, kupolit ja katokset sekä erilliset seinämät, kaiteet, aidat tai ilmoituskilvet. (RIL 201, 2011.)

Rakennuksen tai seinämän kokonaistuulikuorman ominaisarvo saadaan tavallisesti kaavalla (Eurokoodi 5, 2011):

$$F_{w,k} = c_f q_k(h) A_{ref}$$

missä

C_f on voimakerroin,

$q_k(h)$ on rakennuksen korkeutta vastaava nopeuspaine

A_{ref} on rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala. (1)

3.4.1.2 Omapaino

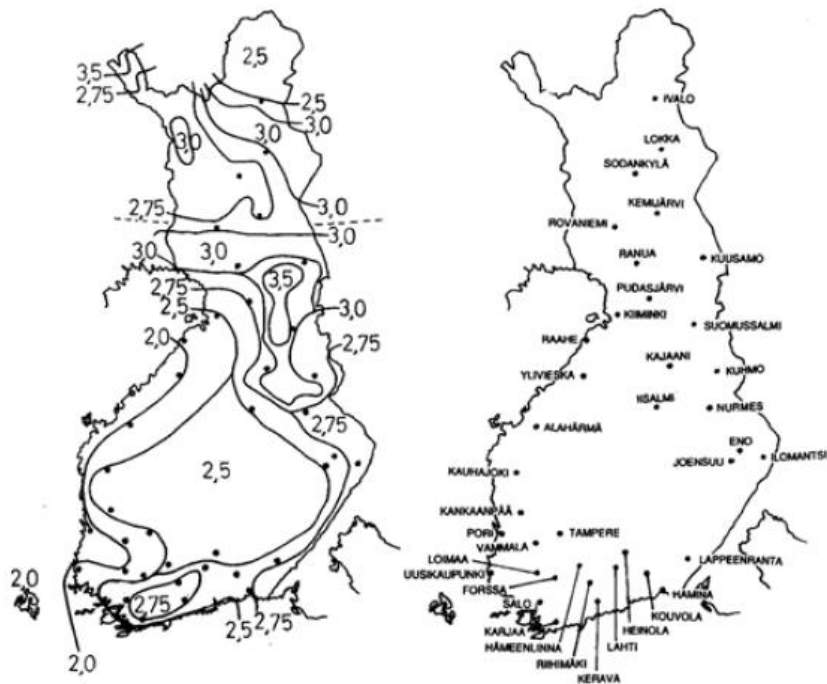
Rakennuskohteen omapaino lasketaan nimellismittojen ja nimellisten tilavuuspainojen perusteella. Usein voidaan käyttää tehdasvalmisteisten rakennusosien valmistajan ilmoittamia arvoja. Esimerkiksi liimapuulle käytetään tilavuuspainon arvoa $5,0 \text{ kN/m}^3$. Rakennuskohteen omaan painoon kuuluvat kantavat ja ei-kantavat rakennusosat, kiinteät laitteet sekä maakerrosten painot. Kevyitä väliseiniä tarkastellaan usein tasaisina lattiakuormina, minimiarvon ollessa kuitenkin $0,3 \text{ kN/m}^2$. Vapaasti liikkuvat seinämät kuuluvat hyötykuormiin. (Eurokoodi 5, 2011.)

3.4.1.3 Hyötykuorma

Laskennalliset hyötykuormat aiheutuvat tilojen käytöstä. Käyttötarkoituksen mukaan käytetään tasan jakautuneita kuormia, pistekuormia ja vaakasuuntaisia viivakuormia. Tämä kuorma oletetaan liikkuvaksi kuormaksi, joka vaikuttaa rakenteen kannalta epäedullisimmassa osassa. Murtorajatilassa hyötykuormalle käyteään yleensä varmuuskerrointa 1,5. (Eurokoodi 5, 2011.)

3.4.1.4 Lumikuorma

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot Suomessa etsitään paikkakuntaakohtaisesti, kuten kuvasta 7 näkyy.



Kuva 7. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot S_k (Eurokoodi 5, 2011).

Ominaislumikuorma q_k kerrotaan maanpinnan lumikuorman määritetyllä muotokertoimella μ_i , josta saadaan katon ominaislumikuormat. Lumikuorman muotokertoimeen vaikuttaa myös esimerkiksi se, onko katolle asennettu lumieste, kaide tai muu liukumiseste. (Eurokoodi 5, 2011.)

3.4.1.5 Pystykuormien lisävaakavoima

Rakennusta kuormittavat pystysuuntaiset kuormat tuovat jäykistyslaskentaan niin sanotun lisävaakavoiman. Pystysuuntaisia kuormia on esimerkiksi lumikuorma, yläpuolisten rakenteiden omapaino ja hyötykuorma. Lisävaakavoima lasketaan kaavalla $N_d/150$, missä N_d on laskettu pystykuorma. (RIL 201, 2011.)

Tässä opinnäytetyössä lisävaakavoima otetaan tarvittaessa huomioon ja suunnittelijalla on mahdollisuus syöttää pystykuormat mukaan laskentaan. Ohjelma huomioi lisävaakavoimat ja lisää ne kuormitukseen. Usein lisävaakavoima tulee ottaa huomioon isommissa rakennuksissa, kuten halleissa. Pientaloissa lisävaakavoiman vaikutus on monesti todella pieni.

3.4.1.6 Kuormien aikaluokat

Kuormien aikaluokkien määrittämisessä käytetään käyttöiän tietyn ajan vaikuttavaa vakiokuorman kestoa. Jokainen kuorma nimetään yhteen aikaluokkaan. Aikaluokkia ovat (Eurokoodi 5 2011):

- Pysyvä aikaluokka: yli 6 kuukautta, omapaino, koneet, laitteet, kevyet väliseinät, varastoitu tavara.
- Keskipitkä aikaluokka: 10 minuuttia – 6 kuukautta, lumi, hyötykuormat, kosteusrasitukset, asennuskuormat.
- Hetkellinen aikaluokka: alle 10 minuuttia, tuuli, onnettomuuskuormat.

3.4.1.7 Käyttöluokat

Rakenteet jakaantuvat kolmeen eri käyttöluokkaan. Käyttöluokat on tarkoitettu lujuusarvojen jaottelua sekä määritellyissä ympäristöolosuhteissa syntyvän muodonmuutoksen laskentaa varten. Käyttöluokan valinnassa tulee ottaa huomioon kosteuden vaihtelut sekä erityisesti käyttöluokassa 1 tulee ottaa huomioon puun halkeiluvaara. (Eurokoodi 5, 2011.)

Käyttöluokka 1: Tyypillisesti käyttöluokassa 1 materiaalin kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava sekä ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää 65 % vain muutaman viikkona vuodessa. Tähän käyttöluokkaan kuuluu puurakenne, joka on lämmitetyssä sisätilassa tai vastaavanlaisissa kosteusolosuhteissa. Mukaan voidaan yleensä lukea myös eristekerroksessa olevat rakenteet. (Eurokoodi 5, 2011.)

Käyttöluokka 2: Materiaalin kosteus vastaa 20 °C:n kosteutta ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Tähän luokkaan kuuluvat rakenteet, jotka sijaitsevat katetussa ja tuuletetussa tilassa ja ovat hyvin suojeltuja kastumiselta sivuilta sekä alta. Mukaan kuuluu yleensä esimerkiksi rossipohjan sekä kylmän ullakkotilan puiset rakenneosat. (Eurokoodi 5, 2011.)

Käyttöluokka 3: Kosteusolosuhteet ovat suuremmat kuin käyttöluokassa 2. Tähän luokkaan kuuluu puurakenne, joka on ulkona säälle alttiina, kosteassa tilassa tai veden vaikutuksen alaisena.

3.4.2 Jäykistys

Jäykistyslaskelmissa tarkistetaan muun muassa rungon ja jäykistyslevyn välisen liittimen leikkauskestävyys sekä vaakasuora kokonaissiirtymä. Levystä tulee tarkistaa myös lommahduskestävyys, ankkurointikestävyys sekä jäykistävän ylä- tai välipohjan vetopaarteiden ja niiden liitosten kestävyys. (Leskelä ja Kilpeläinen, 1996.)

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan rakennuksen levytyksen kapasiteettia. Muita tarkempia tarkasteluja suunnittelija voi tutkia tapauskohtaisesti.

Jäykistysseiniä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon seinien materiaali sekä rakenne. Kuormien vaikutus jäykistysseiniin tulee olla sellainen, että rakenne pysyy tarkoituksenmukaisten käyttökelpoisuusrajojen mukaisena. Standardissa esitellään kaksi menettelytapaa yksinkertaiselle jäykistysseinien analyysille seuraavanlaisesti. (Eurokoodi 5, 2008.)

3.4.3 Menetelmä A

Tällaista menetelmää käytetään vain sellaisten jäykistysseinien yhteydessä, jotka ovat päästään ankkuroituja. Aluksi tarkastellaan kuormitusta, joka vaikuttaa seinän yläreunaan. Tätä voimaa merkitään kirjaimilla $F_{v,Ed}$. Seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo on $F_{v,Rd}$, joka määritetään käyttämällä seuraavassa kerrottua analyysimenetelmää, kun seinä koostuu yhdestä tai useammasta lohkoista ja kun jokaiseen seinälohkoon kuuluu levy, joka on kiinnitetty puurangan toiselle puolelle. Ehtona on, että liitinväli on vakio pitkin jokaisen seinälohkon levyn reunoja ja jokaisen levyn leveys on vähintään $h/4$, missä h on levyn korkeus.

Vaakaleikkausvoimakestävyys lasketaan jokaiselle seinälohkolle kaavasta 2 (Eurokoodi 5, 2008):

$$F_{i,vRd} = \frac{F_{t,Rd} b_i c_i}{s}$$

missä:

$F_{t,Rd}$ on yksittäisen liittimen poikittaiskuormakestävyyden mitoitusarvo

b_i on seinälohkon leveys

s on liitinväli

(2)

Kerroin vaakaleikkausvoimakestävyyden kaavaan lasketaan seuraavasti:

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{kun } b_i \geq b_0 \\ \frac{b_i}{b_0} & \text{kun } b_i < b_0 \end{cases}$$

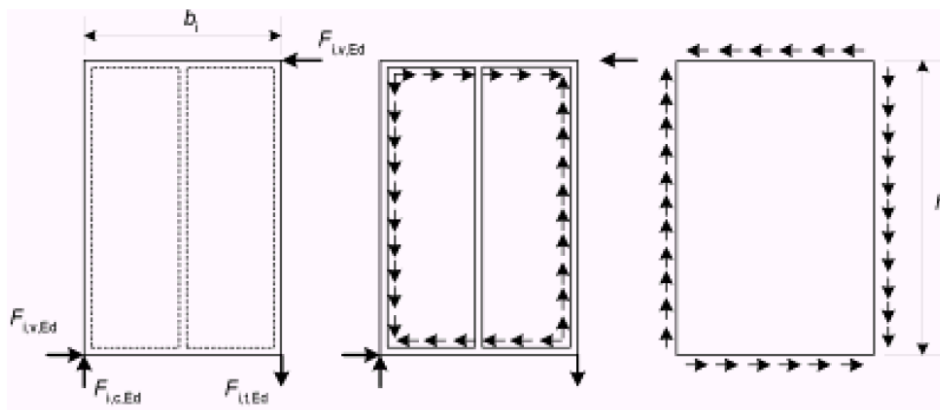
missä:

$$b_0 = h/2$$

h on seinän korkeus.

(3)

Kuvassa 8 ensimmäinen levy esittää voimat, jotka vaikuttavat seinälohkoon. Toisessa esitetään voimat, jotka vaikuttavat rankaan, ja viimeisessä voimat, jotka vaikuttavat levyyn. Poikittain kuormitetun levyn reunoilla olevien liittimien kestävyyden mitoitusarvoa voidaan suurentaa kertomalla luvulla 1,2, jos oletetaan, että reunat ovat kuormittamattomia. (Eurokoodi 5, 2008.)



Kuva 8. Voimat, jotka vaikuttavat levyyn (Eurokoodi 5, 2008.)

Jos seinälohkossa on ovi- tai ikkuna-aukkoja, sitä ei oteta huomioon vaakaleikkausvoimakestävyydessä. Jos levyt ja liittimet ovat samanlaiset mitoiltaan ja tyypiltään

seinälohkossa, jossa levytys on molemmilla puolilla, tulee seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden kokonaisarvona käyttää molempien puolten summaa. Jos käytetään erityyppisiä levyjä, voidaan laskea mukaan 75 % heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyydestä. Muissa tapauksissa otetaan huomioon enintään 50 %. (Eurokoodi 5, 2008.)

Ulkoiset voimat lohkolle lasketaan kaavasta 4 (Eurokoodi 5, 2008.):

$$F_{l,c,Ed} = F_{l,t,Ed} = \frac{F_{l,v,Ed} h}{b_l}$$

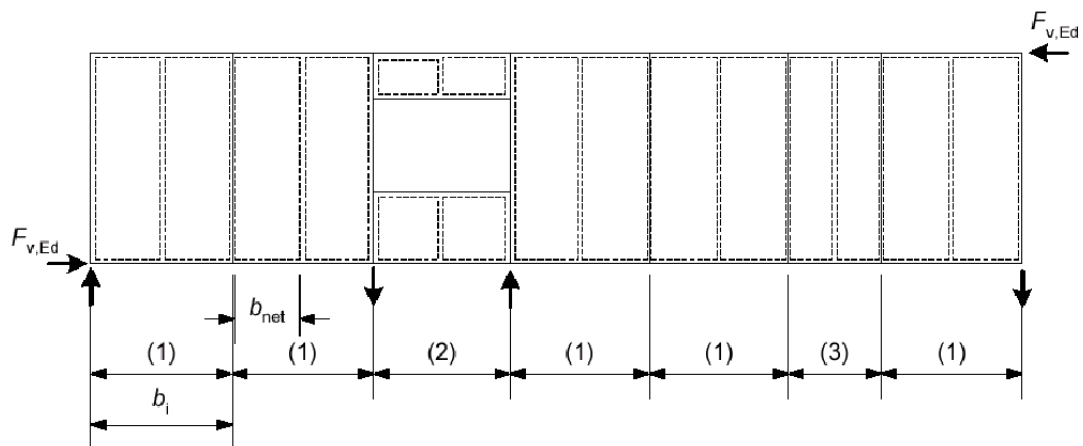
missä h on seinän korkeus.

(4)

Ulkoiset voimat siirretään joko viereiselle seinälohkolle tai ylä- tai alapuoliselle rakenteelle. Seinälohko tulee ankkuroida jäykin liittimin, kun vetovoimia siirretään alapuoliselle rakenteelle. Seinätolppien nurjahdusmahdollisuus tarkistetaan myös. (Eurokoodi 5, 2008.)

Omassa ohjelmassani ei tarkastella nurjahdusmahdollisuutta eikä lommahdusta, vaan nämä tulee huomioitua tarvittaessa suunnittelijan muissa tarkasteluissa. Ohjelma käsittelee levyjen leikkausvoimakestävyyttä.

Kuvassa 9 seinälohko (1) tarkoittaa normaalilevyistä seinälohkoa. Lohko (2) tarkoittaa ikkunallista seinälohkoa ja lohko (3) tarkoittaa kapeaa seinälohkoa. Lohkoihin 2 ja 3 vaikuttavat kuormat voidaan myös siirtää ylä- tai alapuoliseen rakenteeseen.



Kuva 9. Erilaisia seinälohkotyyppejä (Eurokoodi 5, 2008.)

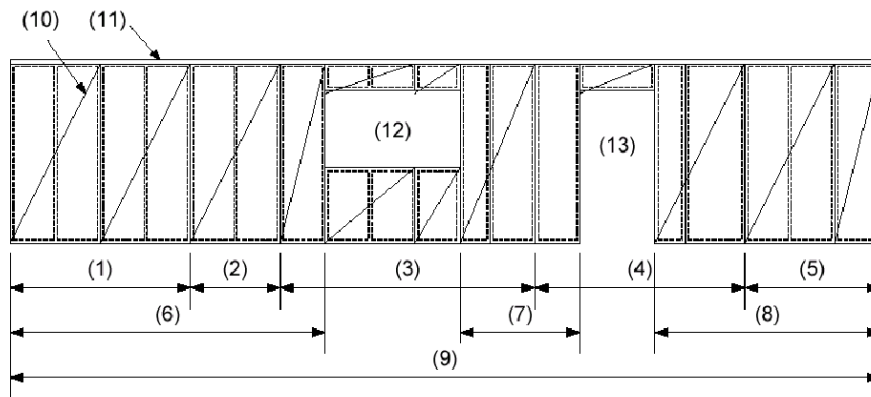
Levyn leikkauslommahdus voidaan jättää huomiotta, mikäli seuraava ehto täyttyy (Eurokoodi 5, 2008):

$$\frac{b_{\text{net}}}{t} \leq 100 \quad (5)$$

Kaavassa 5 b_{net} on tolppien välinen vapaa väli ja t on levyn paksuus. Liitinväli keskitalpassa saa olla enintään levyn reunojen liitinväli kaksinkertaisena, jotta keskitolpan voidaan katsoa muodostavan levyn tuen.

3.4.4 Menetelmä B

Kuvassa 10 seinäkokonaisuus sisältää yhden tai useamman täyskorkean seinäosan, joista jokainen muodostuu lohkoista. Seinälohkoja ovat 1-5, seinäosia ovat 6-8 ja seinäkokonaisuutta tarkoittaa numero 9. Yksittäinen levy on numero 10, ja yläsidettä tarkoittaa 11, ikkunaa 12 ja ovea 13.



Kuva 10. Esimerkki useasta seinälohkosta koostuvasta seinäkokonaisuudesta (Eurokoodi 5, 2008.)

Jotta lohko voidaan ottaa huomioon vaakaleikkausvoimakestävyyttä laskettaessa, tulee sen leveyden olla vähintään neljäsosa lohkon korkeudesta. Samalla tulee liittimien sijaita tasavälein ja levyn muut liitinvälit saavat olla enintään kaksinkertaiset reunojen liitinväleihin nähden. Jos seinässä on aukko on aukon molemman puoliset osat eri lohkoja. (Eurokoodi 5, 2008.)

Lohkot voidaan yhdistää yhtenäiseksi seinäosaksi. Tällöin tulee yksittäisten lohkojen yläreunat yhdistää lohkojen välisten liitosten ylittävällä yläsiteellä. Kahden lohkon välisen pystysuuntaisen liitoksen mitoituskestävyyden on oltava vähintään 2,5 kN/m. Lohkojen tulee myös kyetä ottamaan vastaan kaatumista ja liukumista estävät voimat, mikä onnistuu joko tukirakenteeseen ankkuroimalla tai seinäosaan vaikuttavien pysyvien kuormien avulla tai näiden yhteisvaikutuksella. (Eurokoodi 5, 2008.)

Tässä menetelmässä tarkasteltavan seinärakenteen leikkauskestävyys $F_{v,Rd}$, määritetään ulokkeena toimivan seinän yläreunaan seinän tason suunnassa vaikuttavan vaakavoiman $F_{v,Rd}$ suhteen. Kaavalla 6 lasketaan yhden seinäosan vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo (Eurokoodi 5, 2008.)

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{t,Rd} b_i}{s_0} k_d k_{i,q} k_s k_n$$

missä:

$F_{t,Rd}$ on yksittäisen poikittain kuormittuvan liittimen kestävyys mitoitusarvo

b_i on seinäosan pituus [m]

$|A1| > s_0$ on liitinvälin perusarvo [m], ks. seuraavaa kohtaa (4)

k_d on seinäosan mittasuhtekerroin, ks. seuraavaa kohtaa (4) $< A1|$

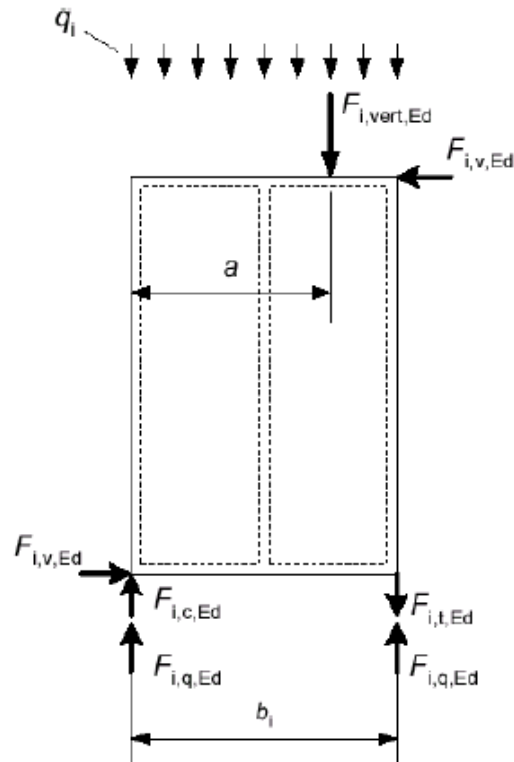
$k_{i,q}$ on seinäosalle i tasan jakautuneen kuorman kerroin, ks. seuraavaa kohtaa (4)

k_s on liitinvälistä riippuva kerroin, ks. seuraavaa kohtaa (4)

k_n on levyn materiaalikerroin, ks. seuraavaa kohtaa (4).

(6)

Standardissa määritellään kunkin kertoimen kaavat, joilla saadaan vaakaleikkausvoimakestävyyden arvo tilanteen mukaisilla liitinväleillä, seinän korkeudella, rangen arvoilla ja materiaalikertoimilla.



Kuva 11. Ekvivalentin pystykuorman ja tukivoimien määrittäminen pysty- ja vaakakuormien perusteella (Eurokoodi 5, 2008.)

Vaakasuuntaisesta kuormituksesta $F_{i,v,Ed}$ (Kuva 11) seinäosaan aiheutuu kuormat $F_{i,c,Ed}$ sekä $F_{i,t,Ed}$, jotka määritetään seuraavalla kaavalla 7 (Eurokoodi 5, 2008).

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i}$$

missä,

h on seinän korkeus

b_i on seinäosan leveys.

(7)

Leikkausvoiman $F_{i,v,Ed}$ aiheuttamaa levyn lommahtamista ei tarvitse huomioida, jos jo menetelmässä A esitetty leikkauslommahduksen ehto täyttyy.

4 JÄYKISTYSOHJELMA

Tämä opinnäytetyö käsittelee levyjäykistyksellä toteutettua jäykistyslaskentaa. Laskentaohjelma tulee Liinatikka Oy:n käyttöön ja päivittää yrityksen jäykistyslaskennan

eurokoodimitoitukselle. Excel-pohjainen ohjelma laskee tuulikuormat suunniteltavalle rakennukselle, levyjen kapasiteetin valituille levytyypeille, kiinnikkeille ja kiinnikeväleille. Julkisivukuvista haetaan pitkän sivun ja katon pinta-alat sekä päädyn pinta-ala. Valikoista valitaan maastoluokka ja voimakerron syötetään itse joko taulukosta hakemalla tai tarkemmin laskemalla.

4.1 Excel

Microsoft Excel on taulukkolaskentaohjelma, jonka toiminta perustuu soluihin. Ohjelmassa on mahdollista kehittää itse laskentakaavoja helpottamaan työskentelyä. Kaavojen, kaavioiden ja diagrammien tekemiseen voi käyttää joko soluja tai Excelin omaa koodauskieltä. Excel soveltuu hyvin opinnäytetyöhöni, koska se on helposti muokattavissa ja selkeä käyttää.

4.2 Laskentaparametrit

Ohjelma käyttää erilaisia parametreja kapasiteettien sekä tuulikuormien laskemiseen. Näitä ovat mm. voimakerron, maastoluokka, korjauskerron, nopeuspaine ja varmuuskerron. Näistä tarkemmat selitykset kerrotaan seuraavaksi.

Voimakerron C_f tulee tuulikuorman laskentaan mukaan kertoimena, ja se määritellään joko tarkemmin itse laskemalla tai oheisella taulukolla rakennuksen muodon mukaan.

Taulukko 1. Yksinkertaistetun menetelmän voimakertoimia (Eurokoodi 5, 2011.)

Kuvaus	c_f
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on 5°...40° (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$)	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30 % rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta.	1,6
Erillinen seinämä	2,1

Levyjäykistämisessä erilaiset levyjen korkeudet sekä liitinvälit tarkoittavat, että perusarvoille tulee antaa kertoimet kompensoimaan muutoksia. Esimerkiksi tässä tapauksessa normaalilevykorkeus on 2 400 mm, joka antaa korjauskertoimen 1, ja kun korkeutta suunnitelmissa nostetaan esimerkiksi arvoon 2 700 mm, tulee kapasiteetin kertoimeksi antaa 0,88. (Gyproc, 2011.)

Tässä opinnäytetyössä liitinvälin vaikutus huomioidaan suoraan Gyprocin taulukoiden mukaan ja liitinvälin valinta antaa sitä vastaavan yhden levyn kapasiteetin laskentaan.

Maan rosoisuuden ja pinnanmuodon mukaan määritellään suunnitelmiin maastoluokka. Näiden avulla saadaan muun muassa tuulikuorman nopeuspaine. Maastoluokkia on viisi ja ne esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Maastoluokat (Eurokoodi 5, 2011.)

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15% on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Nopeuspaine on esitetty jo luvussa 3.4.1.1. Tuulikuorma. Opinnäytetyönä tehtävään Excel ohjelmaan on sisällytetty nopeuspaineen kuva, josta suunnittelija voi löytää suunniteltavan rakennuksen ominaisarvot.

4.3 Jäykistelevyn kapasiteetin laskenta

Otetaan esimerkkilaskuksi jäykistelevyn kapasiteetin laskentaan otteita eurokoodi 5:n asuinrakennuksen sovelluslaskelmista. Esimerkissä käytetään jäykistävänä levytyksenä 9 mm:n tuulensuojalevytystä ja 2,1 mm halkaisijaltaan olevia nauloja. Koko rakennuksen jäykistys toteutetaan jäykistyslinjojen avulla, mutta tässä tarkastellaan vain yhden levyn kapasiteettia. (Eurokoodi 5, 2010.)

Runkomateriaalina on esimerkissä käytetty sahatavaraa C24. Nopeuspaine on 0,45 kN/m², voimakerroin 1,3. Huonekorkeus on 2,8 metriä ja rakennuksen korkeus 8,7 metriä.

Lasketaan aluksi naulan leikkauskestävyys, johon tarvitaan korjauskertoimia k_p sekä k_t , joiden arvot saatiin kaavan 8 mukaisesti (Eurokoodi 5, 2010):

$$k_{\rho} = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = \sqrt{\frac{350}{350}} \quad k_{\rho} = 1,0$$

$$k_{\ell} = \left(0,5 + \frac{t}{12d}\right) \cdot k_{\rho} = \left(0,5 + \frac{9}{12 \cdot 2,1}\right) \cdot 1,0 \quad k_{\ell} = 0,86 \quad (8)$$

Näiden korjauskertoimien avulla saadaan naulan leikkauskestävyys jäykistävälle levyllä kaavoilla 9 ja 10.

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot k_{\ell} \cdot 120 \cdot d^{1,7} = \frac{1,1}{1,4} \cdot 0,86 \cdot 120 \cdot 2,1^{1,7}$$

$$F_{f,Rd} = 1,2 \cdot R_d = 1,2 \cdot 286 \quad F_{f,Rd} = 343 \text{ N} \quad (9)$$

Jäykistävän levyn naulan leikkauskestävyyden avulla lasketaan levyn leikkausvoimakkestävyys seuraavanlaisesti:

$$F_{4,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_4 \cdot c_4}{s} = \frac{343 \cdot 1200 \cdot 0,86}{150}$$

$$F_{4,v,Rd} = 2359,8 \text{ N} \quad (10)$$

missä

s on liitinväli

b4 on lohkon leveys

Tässä opinnäytetyössä kehitettyyn ohjelmaan yksittäisten levyjen kapasiteetit tuodaan laskentaan Gyprocin tarjoamista taulukoista. Kapasiteettia voidaan kasvattaa esimerkiksi pienentämällä liitinväliä. Ohessa lasketun levyn kapasiteetti nousee huomattavasti, jos liitinväli muutetaan arvosta 150 mm arvoon 100 mm.

$$F_{v,Rd} = \frac{343 \cdot 1200 \cdot 0,86}{100} = 3539,76 \text{ N}$$

4.4 Käyttöaste

Lähestulkoon kaikkien rakenteiden kestävyyttä laskettaessa lasketaan rakenneosalle mitoitusehto, jossa kuorman tulee olla pienempi kuin kapasiteetin. Tämä kertoo nopeasti suunnittelijalle tietoa rakenteen kestävyydestä. Käyttöaste lasketaan määritellyn mitoittavan kuormituksen ja lasketun rakenteen kestävyiden arvoista. Kuormitus jaetaan kestävyiden arvolla ja arvo kertoo desimaalilukuna käyttöasteen. Tämä voidaan kertoa luvulla 100, mistä saadaan käyttöaste prosentteina. (Eurokoodi 5, 2010.)

4.5 Seinälohkojen ankkurointi

Jäykistystä laskettaessa on hyvä tarkastella myös vetovoimien siirto alapuoliselle rakenteelle eli seinän ankkurointi jäykin liittimin esimerkiksi alajuoksuun. Tuulikuormitus levyn yläpäähän aiheuttaa nostetta seinärakenteelle, ja tämän nosteen tulee olla pienempi kuin seinän kiinnitysvoiman ja pystysuuntaisen voiman summan. Jokaisen jäykistävän seinäosan nurkat tulee ankkuroida vetovoimalle, joka vastaa kyseessä olevan seinäosan lohkojen suurinta pystyvoimaa. Monesti seinälle riittää sen omapaino eikä ankkurointia tarvitse tarkastella tarkemmin. Joissain tapauksissa kiinnityksiä voi joutua lisäämään tai valitsemaan jäykemmät kiinnikkeet. Pystysauvojen nurjahdusriski tulee tarkistaa myös. (Eurokoodi 5, 2010.)

4.6 Ohjelman käyttö

Ohjelmaan syötetään suunniteltavan rakennuksen tiedot sekä suunnittelijan nimi. Nämä tiedot tulevat suoraan näkyviin tulostettavaan välilehteen.

Nopeuspaineen $q_k(h)$ taulukosta haetaan maastoluokan ja rakennuksen korkeuden mukainen arvo.

<div> Maastoluokka: III </div>
<div> Nopeuspaine $Q_k(h)$: 0,46 kN/m² </div>

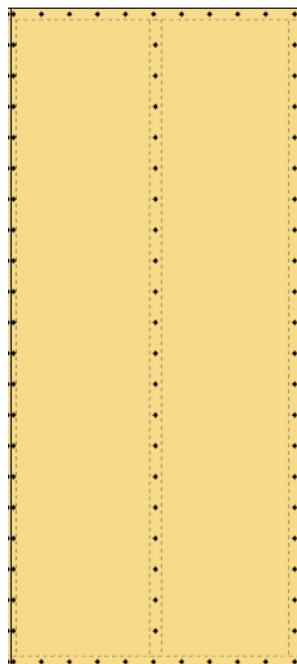
Rakennuksen julkisivukuvista lasketaan kuormittava neliömäärä, joka syötetään omaan kenttään.

Pinta-alat	
Pitkä sivu	35 m ²
Katto	15 m ²
Pääty	0 m ²

Seuraavaksi syötetään voimakerroin, joka saadaan joko taulukon avulla tai tarvittaessa tarkemmin laskemalla. Ohjelma laskee annettujen arvojen perusteella tuulikuorman sivulle ja pätyyn [kN].

Pinta-alat					Tuulikuormat
Pitkä sivu	35 m ²				48,75 kN
Katto	15 m ²				
Pääty	15 m ²				14,74 kN

Tämän jälkeen valitaan levytyypit ja liitintyyppit rakennuksen pätyyn ja sivulle. Levyjen kiinnitystavasta riippuva kerroin vaikuttaa kapasiteettiin, mutta tässä ohjelmassa valitun levyn kapasiteetin on aina samoilla kiinnitystavoilla laskettu kuvan 12 mukaisesti.



Kuva 12. Jäykistelevyn kiinnitystapa (Eurokoodi 5, 2011.)

Lasketaan seuraavaksi, kuinka monta ehjää tai leikattua levyä saadaan mahdutettua rakennuksen sivuille ja päätyyn. Annetaan valikoista arvot liitinväleille sekä levyn korkeuksille, joista ohjelma laskee mahdolliset korjauskertoimet kapasiteettiin.

Ohjelma kertoo annettujen lähtöarvojen perusteella seinien levyjen kapasiteetit ja seinille tulevat tuulikuormat, ja se laskee näistä käyttöasteen ja kertoo, kestävätkö jäykisteet. (Kuva 13.)

Seinä Pääty				
ehjiä levyjä (1200)	10 kpl			
leikatut	2 kpl			
levy+liitin	GEK 13, kl 1, QMTS 32 PUURANKA (3,8x32) ▼			
Kiinnikkeiden väli [mm]	70 ▼			
Levyn korkeus [mm]	2400 ▼			
Päädyn kapasiteetti =	100,28 kN			
Korjauskerroin:	1			
Käyttöaste	48,62 %			

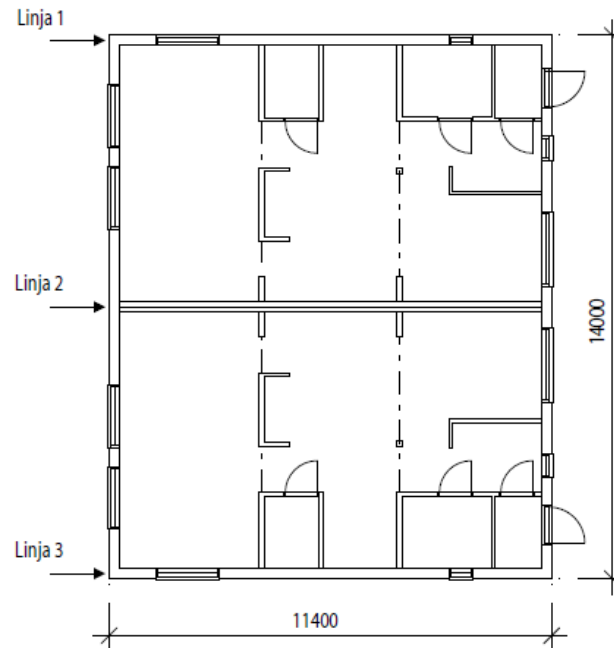
Kuva 13. Esimerkkitilanne.

Tulokset kootaan automaattisesti ensimmäiseen välilehteen, joka laaditaan viranomaiskelpoiseksi tulosteeksi. Tulosteessa näkyy rakennettava kohde, suunnittelija, päivämäärä, laskennassa käytettävät määräykset, valitut levyt sekä kiinnikkeet ja kiinnikevälit, tuulikuormat, maastoluokka, nopeuspaine, pinta-alat sekä laskettu kapasiteetti ja kestävyys. Liitteissä on esimerkkilasku sekä syntynyt tuloste. Lisäksi tulee laskea jäykistävien seinien ankkurointikestävyys.

Ohjelma sisältää liitteitä, kuten taulukoita ja muita ohjeita, joihin pääsee käsiksi ohjelmasta löytyvillä apupainikkeilla. Siellä esitetään myös selitykset syötettäville arvoille.

5 ESIMERKKILASKU

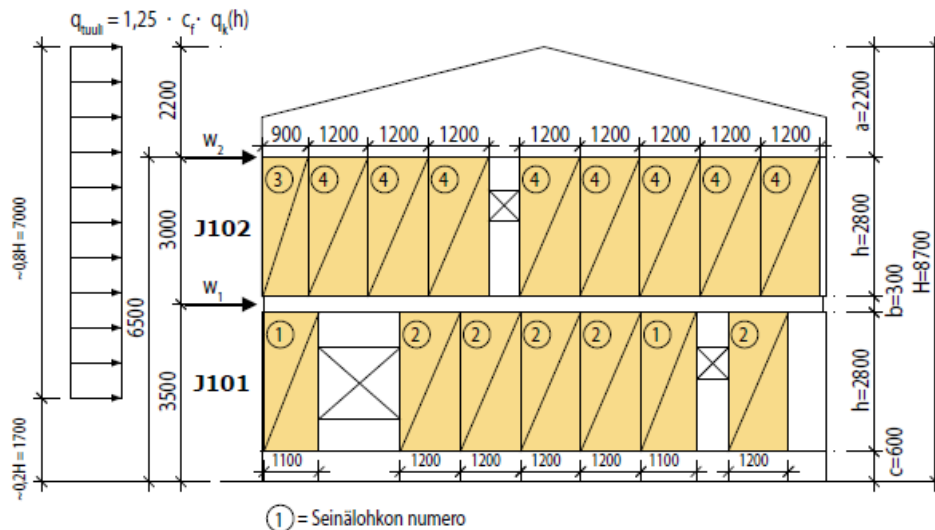
Verrataan Puuinfon EC5-asuinrakennuksen sovelluslaskelmia opinnäytetyössä tehtyyn jäykistysohjelmaan. Otetaan sovelluslaskelmista yhden jäykistävän linjan levyt ja kuormat ja verrataan sitä vastaavilla arvoilla Excel -ohjelman tuloksiin.



Kuva 14. Päätyseinän levyjäykistys (Eurokoodi 5, 2011.)

Kuvasta 14 tässä laskennassa tarkastellaan linjan 3 mukaisia levyjä ja rasituksia. Sovelluslaskelmissa on käytetty havuvaneria jäykistävänä tuulensuojalevytyksenä.

Linja 3-3



Kuva 15. Linjan 3 levytys (Eurokoodi 5, 2011.)

Tarkasteltava taso on J102 (Kuva 15), jossa sijaitsee kahdeksan täysleveää tuulensuojalevyä sekä yksi leikattu levy. Sovelluslaskelmissa nopeuspaineelle on annettu ar-

vo $0,45 \text{ kN/m}^2$ ja voimakerroin on 1,3. Syötetään samat arvot Excel ohjelmaan ja lasketaan kuormitusta vastaanottavan alueen vastaava neliömäärä. (Kuva 16)

Sivu	$2,8 \text{ m}/2 \cdot 14\text{m}/4 = 4,9\text{m}^2$
Katto	$2,2\text{m} \cdot 14\text{m}/4 = 7,7\text{m}^2$

Kuva 16. Neliömäärät laskelmiin

Sovelluslaskelmissa jäykistysseinälle J102 laskettu murtorajatilán kuorma on 13,8 kN, joka lasketaan kaavalla 11 (Eurokoodi 5):

$$F_{d,2} = 1,5 \cdot w_{k,2} \cdot \frac{L}{4} = 1,5 \cdot 2,63 \cdot \frac{14}{4} \quad (11)$$

Ohjelmaan syötetyt vastaavat arvot tuottavat tuulikuorman 13,82 kN, mikä on hyvin lähellä esimerkkilaskun arvoa. Tuulikuorma on laskettu murtorajatilassa käyttäen osavarmuuskertoimta 1,5. (Kuva 17.)

Pinta-alat		Tuulikuormat	
Pitkä sivu	4,9 m ²		13,82 kN
Katto	7,7 m ²		
Pääty	0,0 m ²		0,00 kN
Maastoluokka: III ▼		Lisävaakavoimat	
Nopeuspaine $q_k(h)$: 0,45 kN/m ²		Lumi	0
Voimakerroin C_f = 1,3		Omapaino	0
$q_{w,k}$ = 0,731 kN/m ²			

Kuva 17. Excel-ohjelman tuulikuorman laskenta

Seuraavaksi sovelluslaskelmissa lasketaan jäykistelevyn kiinnikkeiden leikkauskestävyys ja sitä mukaan yhden levyn leikkausvoimakestävyys liitinvälillä 150 mm, lohkon leveydellä 1 200 mm sekä korkeudella 2 800 mm. Yhden levyn leikkausvoimakestävyudeksi saadaan 2 359,8 N kaavan 12 avulla (Eurokoodi 5, 2011):

$$\begin{aligned}
 s &= 150 \text{ mm} & \text{liitinväli} \\
 b_4 &= 1200 \text{ mm} & \text{lohkon leveys} \\
 c_4 &= \frac{2 \cdot b_4}{h} = \frac{2 \cdot 1200}{2800} = 0,86 \quad (\text{kaava B.7.7}) \\
 F_{4,v,Rd} &= \frac{F_{f,Rd} \cdot b_4 \cdot c_4}{s} = \frac{343 \cdot 1200 \cdot 0,86}{150}
 \end{aligned} \tag{12}$$

Syötetään samat arvot ja etsitään ohjelmasta kipsilevy, joka vastaa kapasiteetiltaan suurin piirtein samaa kuin sovelluslaskelmassa käytetty havuvaneri. Normaali sisäverhouslevy GN 13, QMTS 32 (3,8 mm*32 mm)-liittimillä antaa samansuuruisen kapasiteetin (2,33 kN) kuin sovelluslaskelmien havuvaneri. (Kuva 18)

ehjiä levyjä (1200)	1 kpl
leikatut	0 kpl
levy+liitin	GN 13, kl 1, QMTS 32 PUURANKA (3,8x32) ▼
Kiinnikkeiden väli [mm]	150 ▼
Levyn korkeus [mm]	2800 ▼
Päädyn kapasiteetti =	2,33 kN
Korjauskerroin:	0,85

Kuva 18. Yhden levyn kapasiteetti.

Seuraavaksi lasketaan koko seinän kapasiteetti eli laitetaan kahdeksan levyä sekä yksi leikattu levy, jonka kapasiteetiksi sovelluslaskelmissa saatiin 1,32 kN. Saman leikatun GN13 levyn kapasiteetti on 0,49 kN, sillä leikattujen kipsilevyjen kapasiteettia tulee

vähentää nykymääräysten mukaisesti 75 %. Vaneri lasketaan aikaisemmilla kaavoilla ja kapasiteetti saadaan muuttamalla levyn leveyttä.

Koko seinän leikkausvoimakestävyydeksi saadaan 20,2 kN, joka täyttää myös mitoitus-
tusehdon seuraavasti (Eurokoodi 5, 2011):

$$F_{v,Rd} = 1 \cdot F_{3,v,Rd} + 8 \cdot F_{4,v,Rd} = 1 \cdot 1317,1 + 8 \cdot 2359,8$$

$$F_{d,2} \leq F_{v,Rd} \Rightarrow 13,8 \leq 20,2 \quad (13)$$

Käyttöasteeksi sovelluslaskelmassa saatiin 68 % mikä tarkoittaa sitä että rakenne kestää kuormitusta. Excel-ohjelmasta saadaan seuraavanlaiset tulokset (Kuva 19)

ehjiä levyjä (1200)	8 kpl
leikatut	1 kpl
levy+liitin	GN 13, kl 1, QMTS 32 PUURANKA (3,8x32)
Kiinnikkeiden väli [mm]	150
Levyn korkeus [mm]	2800
Päädyn kapasiteetti =	19,13 kN
Korjauskerroin:	0,85
Käyttöaste	72,26 %

Kuva 19. Excel -ohjelman jäykistyslaskelma.

Kuten kuvasta 19 nähdään, käyttöasteeksi seinälle saadaan 72,26 % eli rakenne kestää kuormitusta lähestulkoon samanlaisesti kuin sovelluslaskelmissa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön tilaaja halusi ohjelman, jolla lasketaan pientalon levyjäykistys eurokoodimitoituksella Gyprocin kipsilevyjä ja kiinnikkeitä käyttäen. Ohjelman tulisi tuottaa selvä ja viranomaiskelpoinen tuloste rakennuksen jäykistyksestä. Tavoitteeseen päästiin, sillä tuloste on selvä ja siitä näkee kohteen tiedot, käytetyt levyt ja materiaalit sekä jäykisteen tulokset ja toimivuuden kuormaa vastaan. Suunnittelija lisää julkisivukuvat erikseen tulosteisiin.

Esimerkkilaskuja käyttäen ja standardeja tutkien voidaan päätellä, että kehitetty ohjelma laskee yksinkertaisen levyjäykistys oikein ja sitä voidaan käyttää siten suunnittelussa. Erikoisimpia rakenteita suunniteltaessa on hyvä tarkastella tarkemmin kuormia ja detaleja sekä niiden kestävyyskykyä. Tällöin voi tukeutua eurokoodien apuun, sillä ne sisältävät tarkat kaavat monimutkaisiinkin rakenteisiin.

Jäykistys on vain yksi osa rakennuksen suunnittelua, mutta jäykistyslaskenta on hyvä tarkistaa aina taloa suunniteltaessa, jotta vältetään ikäviltä yllätyksiltä. Joissain tapauksissa kapasiteetin laskentaan tarvitaan pienetkin levynkappaleet mukaan, jotta päästään riittävään kestävyYTEEN, vaikka useimmin tarkemmilta laskelmilta välttyttäisiinkin.

Tulee muistaa, että myös sisäpuolinen levytys voi ottaa vastaan kuormitusta. Levyjen valinnassa tulee huomioida märkätilarakenteet sisäpuolella ja valita sen mukaisesti levytyypit. Levyjen asentajien on hyvä muistaa, että suunnittelija määrittää tarkoituksella tarkasti liitinvälit, koska sillä on suuri merkitys levyn kapasiteettiin. Myös rikkiinäiset levyt olisi hyvä vaihtaa ehjiin, sillä kapasiteetit pienenevät huomattavasti leikatuilla tai vaurioituneilla levyillä.

Jäykistämistapoja on useita, ja käytettävissä on useita eri materiaaleja. Tätä opinnäytetyötä varten kehitetyssä ohjelmassa on käytetty materiaalina ainoastaan kipsilevyjä. Käytettäessä esimerkiksi puuta materiaalina muuttuu laskelmissa vain yksittäisten levyjen kapasiteettien laskenta.

LÄHTEET

B10, 2000. Puurakenteet. Ohjeet 2001. Ympäristöministeriön asetus puurakenteista. Helsinki: Suomen rakentamismääräyskokoelma ympäristöministeriö.

Eurokoodi 1, 2007. Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. SFS-EN 1991-1-4. Liite 5. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Eurokoodi 5, 2008. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. SFS EN 1995-1-1 + A1 + AC. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Eurokoodi 5, 2011. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Eurokoodit, 2012. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=19505&lan=fi> [viitattu 22.3.2012].

Eurokoodi, 2006. Rakenteiden suunnitteluperusteet. SFS-EN 1990 + A1 + AC. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Eurokoodi Help-desk, 2012. Saatavissa:

<http://www.eurocodes.fi/> [viitattu 22.3.2012].

Gyproc, 2012. Saatavissa:

<http://www.gyproc.fi/ratkaisut/kipsilevy-rakennusmateriaalina/tuulensuojalevyt> [viitattu 22.3.2012].

Gyproc, 2011. Suunnittelu-arvot ja taulukkomitoitusohjeet. Glasroc-

komposiittikipsilevyjen GHO 13, GHU 13, GHS 9 ja rigidur kuituvahvistelevyjen

GFH 13 sekä Gyproc rakennuslevyjen GN 13, GEK 13, GF 15, GTS 9 ja GL 15 käyttö rankarakenteisten rakennusten jäykistämiseen. Kirkkonummi: Saint Gobain Rakennustuotteet Oy, Gyproc.

Leskelä, J. ja Kilpeläinen, M. 1996. Puukerrostalon seinä- ja jäykistysrakenteiden mitoitus. Case: Kiinteistö Oy Puukotka. Oulu: Oulun yliopisto.

Puurakenteiden jäykistyssuunnittelun ohje, 2006. Helsinki: VTT.

RIL 201-1-2011, 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

TUULIJÄYKISTYKSEN KOKONAISTARKASTELU

Talo: Janne Koivuniemi
Työ: Opinnäytetyö, esimerkkilasku yläkerta
Osoite: Kotka

Postitoim: Kotka

Suunnittelija: Janne Koivuniemi

Määräykset ja ohjeet:

Eurokoodi 5, RIL 205-1-2009 Liite B, Suomen rakentamismääräyskokoelma B10 (Puurakenteet), SFS-EN 1995-1-1 + A1 + AC, SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1, Gyproc suunnitteluarvot ja taulukkomitoitusohjeet

Levyt ja kiinnikkeet:

Pääty	GHO 13, kl1, QT29 Puuranka (3,8x28)
Kiinnikeväli	70 mm
Sivu	GHO 13, kl1, QT29 Puuranka (3,8x28)
Kiinnikeväli	70 mm

Tuulikuorma:	0,75 kN/m²
Maastoluokka:	III
Nopeuspaine:	0,46 kN/m²

Pinta-alat:

Sivuseinä:	19 m²
Katto:	35 m²
Pääty:	25 m²

KAPASITEETILASKELMAT

Päätyjen levyt

Ehjiä (1200)	12 kpl
Leikattuja	8 kpl
Kiinnikeväli	70 mm

Päädyn kokonaiskapasiteetti	71,20 kN
------------------------------------	-----------------

Sivujen levyt

Ehjiä (1200)	8 kpl
Leikattuja	8 kpl
Kiinnikeväli	70 mm

Sivun kokonaiskapasiteetti	50,50 kN
-----------------------------------	-----------------

TUULIKUORMAT

	Kapasiteetti		Kuorma	
Pääty	50,5 kN	>	24,5 kN	OK
Pitkäsivu + Katto	71,2 kN	>	52,6 kN	OK

Paikka	Kotka
Aika	2012
Suunnittelija	Janne Koivuniemi

TUULIJÄYKISTYKSEN KOKONAISTARKASTELU

Asiakas: Janne Koivuniemi
 Työ: Opinnäytetyö, esimerkkilasku yläkerta
 Osoite: Kotka
 Postitoim: Kotka

Suunn: Janne Koivuniemi

Määräykset ja ohjeet: Eurokoodi 5 , RIL 205-1-2009, RIL 201-1-2011
 SFS- EN 1995-1-1 + A1 + AC, SFS -EN 1991-1-4 + AC + A1
 Gyproc suunnitteluarvot ja taulukkomitoitusohjeet

Levyt ja kiinnikkeet:

Pääty GHO 13, kl1, QT29 Puuranka (3,8x28)
 Sivu GHO 13, kl1, QT29 Puuranka (3,8x28)

Jäykistyslaskenta

Pinta-alat	
Pitkä sivu	19 m ²
Katto	35 m ²
Pääty	25 m ²

Tuulikuormat	
	52,64 kN
	24,46 kN

Maastoluokka: III

Nopeuspaine $Q_k(h)$: 0,46 kN/m²

Voimakerroin C_f = 1,3

▼
 Lumi
 Omapaino

10
15
=>
Nd/150
0,07
0,1

$$q_{w,k} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

Seinä Pääty

ehjiä levyjä (1200)	12 kpl	
leikatut	8 kpl	
levy+liitin	GHO 13, kl1, QT29 Puuranka (3,8x28)	▼
Kiinnikkeiden väli [mm]	70	▼
Levyn korkeus [mm]	2700	▼
Päädyn kapasiteetti =	71,20 kN	
Korjauskerroin:	0,88	
Käyttöaste	73,93 %	

Käytännöt jos levyjä on molemmin puolin seinälohkossa:

Jos levyt ja liittimet ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset, niin seinän vaakaleikkausvoimakestävyys lasketaan molempien levytysten summana
Jos käytetään erityyppisiä levyjä, mutta siirtymäkertoimeltaan samanlaisia liittimiä, voidaan yleensä ottaa huomioon 75% heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyystä.
Muissa tapauksissa vahvemman puolen vaakaleikkausvoimakestävyyteen saadaan lisätä enintään 50% heikomman puolen kestävydestä.